

Article

« Palynologie des sédiments de la fin de l'optimum climatique de l'interglaciaire sangamonien, île aux Coudres, estuaire du Saint-Laurent, Québec »

Martine Clet et Serge Occhietti

Géographie physique et Quaternaire, vol. 49, n° 2, 1995, p. 291-304.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/033043ar>

DOI: 10.7202/033043ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

PALYNOLOGIE DES SÉDIMENTES DE LA FIN DE L'OPTIMUM CLIMATIQUE DE L'INTERGLACIAIRE SANGAMONIEN, ÎLE AUX COUDRES, ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT, QUÉBEC

Martine CLET et Serge OCCHIETTI ; première auteure : Centre de Géomorphologie du CNRS, rue des Tilleuls F-14000 Caen, France, et Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie, Département de géographie, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-ville, Montréal, Québec H3C 3J7 ; deuxième auteur : Département de Géographie et GÉOTOP, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec H3C 3P8.

RÉSUMÉ Des silts sableux prodeltaïques, des sables deltaïques et des silts et sables stratifiés ont été excavés sous l'estran et à la base des falaises de la côte nord-ouest de l'île aux Coudres, dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. L'analyse sporopollinique à maille serrée de ces unités révèle une suite d'associations végétales du Sangamonien observée pour la première fois dans la vallée du Saint-Laurent. À la base, la phase prodeltaïque est contemporaine d'une forêt boréale régionale à *Picea mariana*, *Pinus banksiana* et, en proportion décroissante, à *Abies*. Cette phase est suivie d'un épisode deltaïque puis d'un optimum climatique de type interglaciaire caractérisé par une forêt régionale mixte à *Picea* et *Quercus* (17 %). Au-dessus, la succession pollinique représente la transition entre la fin d'un optimum interglaciaire et un épisode glaciaire. La forêt mixte est remplacée progressivement par une sapinière (*Picea*, *Abies*, *Betula*), une pessière (*Picea*, *Pinus*), puis par une toundra arbustive (*Betula*, *Alnus crispa*). Des sables stériles puis des varves glaciolacustres, déjà connus, complètent cette séquence de refroidissement. Les unités pléistocènes de l'île aux Coudres introduisent de nouveaux éléments de corrélation entre les séquences du lac Ontario, de la vallée du Saint-Laurent et celles du golfe du Saint-Laurent. Le lit à *Quercus* abondant représente, sur une faible épaisseur, un optimum climatique du Sangamonien très probablement équivalent de la fin du sous-stade isotopique 5e. Il confirme l'âge pré-sangamonien et du début du Sangamonien des sédiments détectés par sismique réflexion jusqu'à -160 m sous le niveau actuel de l'estuaire du Saint-Laurent. L'optimum climatique est suivi d'un refroidissement caractérisé par une évolution végétale semblable à celle observée en Nouvelle-Écosse pendant la transition du 5e au 5d.

ABSTRACT Pollen content of Sangamian Interglacial deposits, Ile aux Coudres, middle St. Lawrence Estuary, Québec. Prodelta sandy silt, delta sand, stratified sand and silt were excavated at low tide or at the base of the cliffs on the NW coast of Ile Aux Coudres, middle St. Lawrence Estuary. A detailed pollen analysis of these units has revealed a Sangamian vegetation sequence which is observed for the first time in the St. Lawrence Valley. The lower prodelta unit was deposited during a *Picea mariana* and *Pinus banksiana* regional boreal forest phase during which *Abies* is decreasing. This phase is followed by a delta episode, then by a regional mixed forest with *Picea* and *Quercus* (17%) related to an interglacial climatic optimum. The following vegetation sequence shows the transition between an interglacial climatic optimum and a glacial episode. The mixed forest changes progressively to fir forest (*Picea*, *Abies*, *Betula*); boreal forest (*Picea*, *Pinus*); then shrub tundra (*Betula*, *Alnus crispa*). Previously described overlying sands and varves are completing this cooling sequence. The Pleistocene units of Ile Aux Coudres are a significant marker between the sequences of Lake Ontario, of the St. Lawrence fluvial valley and of the Gulf of St. Lawrence. The thin bed with a high percentage of *Quercus* is most likely related to the Sangamian climatic optimum (end of isotopic substage 5e). It confirms the pre and early Sangamian age ascribed to the Pleistocene deposits extending up to 160 m below the water level of the St. Lawrence Estuary as recorded by high resolution seismic data. The climatic cooling (end of 5e and 5d) which follows the optimum phase is characterized by a continuous vegetation change similar to those observed in Nova Scotia.

ZUSAMMENFASSUNG Pollenanalyse der Sedimente vom Ende des klimatischen Optimums im sangamonischen Interglazial, île aux Coudres, Sankt-Lorenz-Mündungsbecken, Québec. Prodelta Sandschlamm, Delta-Sand und geschichteter Schlamm und Sand wurden unter dem Strand und am Fuß der Steilküsten im Nordwesten der île aux Coudres im mittleren Mündungsbecken des Sankt-Lorenz-Stroms ausgegraben. Eine sorgfältige Sporen-Pollen-Analyse dieser Einheiten läßt eine Folge von Pflanzen-Verbindungen des Sangamoniums erkennen, die so zum ersten Mal im Sankt-Lorenztal beobachtet werden konnte. Die Prodelta-Phase an der Basis fällt zeitlich zusammen mit einem regionalen nördlichen Wald mit *Picea mariana*, *Pinus banksiana* und abnehmenden *Abies*. Auf diese Phase folgte eine Delta-Phase und dann ein klimatisches Optimum interglazialen Typs, welches von einem regionalen Mischwald mit *Picea* und *Quercus* (17 %) bestimmt war. Die darüber liegende Pollenabfolge repräsentiert den Übergang vom Ende eines interglazialen Optimums zu einer glazialen Episode. Der Mischwald wird allmählich durch einen Tannenwald (*Picea*, *Abies*, *Betula*), einen Fichtenwald (*Picea*, *Pinus*) und dann durch eine Buschtundra (*Betula*, *Alnus crispa*) ersetzt. Unfruchtbarer Sand und schließlich schon bekannte glaziallimnische Warven beschließen diese Abkühlungssequenz. Die Pleistozän-Einheiten der île aux Coudres ergeben neue Korrelations-elemente zwischen den Sequenzen des Ontario-Sees, dem Sankt-Lorenztal und dem Sankt-Lorenz golf. Das dünne Bett mit hohem Gehalt an *Quercus* zeigt ein klimatisches Optimum im Sangamonium, das sehr wahrscheinlich dem Ende der isotopischen Unterphase 5e entspricht. Es bestätigt die Datierung der Sedimente auf das Vorsangamonium und den Anfang des Sangamoniums. Die Sedimente wurden mittels seismischer Reflexion bis zu 160 m unter dem gegenwärtigen Niveau des Mündungsbeckens des Sankt-Lorenz entdeckt. Auf das klimatische Optimum folgte eine Abkühlung, die sich durch eine Pflanzen-Entwicklung ähnlich der in Neuschottland während des Übergangs von 5e zu 5d auszeichnete.

INTRODUCTION

Un ensemble important d'unités pléistocènes, incluant des dépôts organiques apparentés aux Sédiments de Saint-Pierre, affleure sur la marge nord-ouest de l'île aux Coudres (Brodeur et Allard, 1985). Cet ensemble représente un jalon stratigraphique essentiel entre les séquences de la vallée fluviale du Saint-Laurent, en cours de révision complète (Lamothe, 1989 ; Occhietti et Clet, 1989 ; Occhietti, 1990 ; Ferland et Occhietti, 1990a et b ; Besré et Occhietti, 1990 ; Bernier et Occhietti, 1990, 1991) et celle de la périphérie du golfe du Saint-Laurent (Grant, 1989). Il repose sur des unités pléistocènes enfouies jusqu'à -160 m sous le niveau du fleuve, d'après des levés de sismique réflexion à haute résolution (Todd *et al.*, 1991) et un forage (Boespflug *et al.*, 1995 ; Occhietti *et al.*, sous presse). Les affleurements de cet ensemble avaient fait antérieurement l'objet de quelques études complémentaires : analyse sporopollinique limitée à quatre échantillons (Brodeur et Allard, 1985), datation au ^{14}C supérieure à 35 000 BP (M. Allard, communication personnelle, 1986), description de silts laminés inférieurs (Brodeur, 1987), présence d'un assemblage pollinique à caractère interglaciaire dans les lits inférieurs (Occhietti et Clet, 1989).

Cet article comporte plusieurs objectifs : 1) une mise à jour succincte des données lithologiques et stratigraphiques des unités pléistocènes visibles en affleurement à l'île aux Coudres, afin de cadrer chronologiquement la carotte de forage prélevée sous le fleuve ; 2) un inventaire systématique du contenu sporopollinique des unités accessibles, en mettant l'accent sur la présence de témoins du dernier interglaciaire ; 3) la reconstitution des variations du contexte végétal du moyen estuaire du Saint-Laurent, au cours du Pléistocène supérieur ; 4) l'intégration de la séquence accessible dans le cadre stratigraphique général de la vallée fluviale et de l'estuaire du Saint-Laurent.

MÉTHODOLOGIE

L'analyse stratigraphique systématique et détaillée (Occhietti, 1990) a été appliquée aux coupes naturelles de l'île aux Coudres, en suivant régulièrement l'état des affleurements depuis 1985. Les épaisseurs ont été mesurées avec un niveau électronique. La microfaune marine a été recherchée dans toutes les unités laminées. Les résultats de sédimentologie fine et la lithostratigraphie formelle seront publiés ultérieurement.

Les méthodes de prélèvement et d'analyse pollinique ont déjà été décrites (Clet et Occhietti, 1988 ; Clet, 1989 ; Clet *et al.*, 1991). Les échantillons, prélevés tous les 10 cm dans des coupes bien nettoyées, ont été préparés au Centre de Géomorphologie du CNRS, à Caen, par S. Guermont, avec emploi de la liqueur de Thoulet ($\text{CdI}_2 + \text{KI}$, densité 2,2) et traitement par acétolyse. Le traitement informatique des données a été effectué à l'aide du logiciel G3PAL (Goeury, 1988). Plusieurs indices caractéristiques (Clet *et al.*, 1991) ont été retenus lors de l'interprétation.

DESCRIPTION DES UNITÉS PLÉISTOCÈNES ACCESSIBLES

Six unités pléistocènes et une unité holocène avaient été identifiées par Brodeur et Allard (1985) dans la coupe principale de la pointe de la Prairie et dans deux coupes adjacentes (Ravin amont et Ravin aval). Un groupe d'unités inférieures additionnelles de silts et de sables stratifiés ou laminés a été identifié à la base de la coupe de la Calvette, à celle de l'Épave et sur des affleurements près du phare, à marée basse (fig. 1). En raison de l'érosion rapide des coupes de la Calvette et du Ravin amont, d'importantes données nouvelles ont été obtenues dans les unités 1 à 5 de Brodeur et Allard (1985) (fig. 2). L'ensemble de toutes les unités contenues entre la base et le sommet des falaises du nord-ouest de l'île aux Coudres constitue une séquence actuellement accessible, épaisse localement de 40 m. Elle repose sur la séquence enfouie, dont l'épaisseur maximale apparente est évaluée à 160 m (Todd *et al.*, 1991). La séquence totale des dépôts quaternaires de la bordure nord-ouest de l'île atteint par conséquent 200 m d'épaisseur.

Du point de vue lithologique, la séquence accessible peut être subdivisée en unités (I à V ; fig. 2) dont les limites coïncident bien avec les subdivisions proposées par Brodeur et Allard (1985), indépendamment de la hiérarchie et de la numérotation des unités ou sous-unités.

UNITÉ I : rythmites inférieures et sable et silt stratifiés à la base des falaises

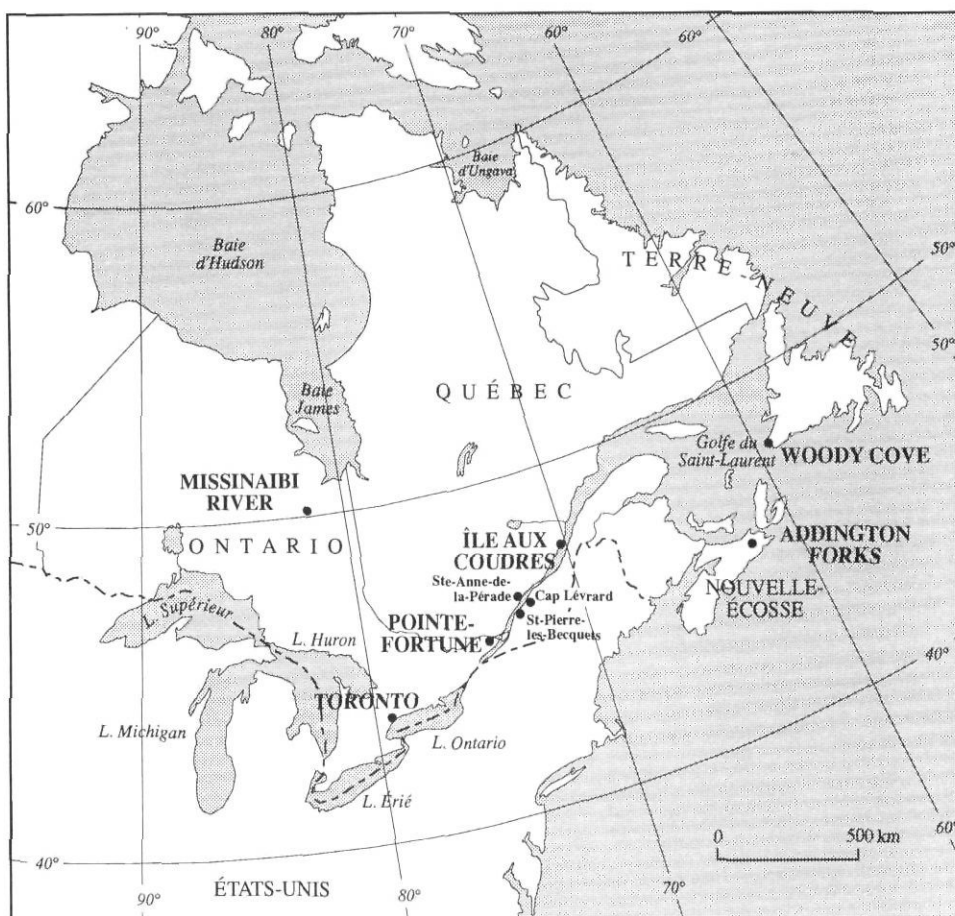
Cette unité composite a été dégagée à la pelle ou échantillonnée à la tarière. Elle comprend de la base au sommet (fig. 2) :

- Des rythmites silto-sableuses grises, échantillonnées dans la coupe de l'Épave entre -2,6 m et + 0,5 m par rapport au niveau des hautes marées. Ces rythmites ont été échantillonnées à sec, à marée basse, par excavation et par carottage à l'aide d'une tarière. Des rythmites silto-sableuses grises et gris rosâtre ont également été échantillonnées au pied du phare (fig. 1B) par une excavation de 50 cm sous la surface de l'estran à marée basse. Ces rythmites forment à cet endroit le substratum de l'estran qui est recouvert de dépôts intertidaux récents et discontinus visibles à marée basse, c'est à dire à -5 m sous le niveau des hautes marées. Les rythmites de ces deux affleurements représentent la lithozone inférieure la.

- Des sables fins stratifiés, échantillonnés de 0,5 m à 2 m au-dessus du niveau des hautes marées, à la coupe de l'Épave. Ces sables, en position conforme au-dessus de la lithozone la, sont mis en corrélation avec les sables fins, stratifiés et oxydés découverts à la base de la coupe de la Calvette lors d'une excavation creusée à la pelle mécanique. La base des sables de la Calvette n'a pu être atteinte sous 4 m d'excavation. La limite inférieure excavée est à la même altitude que le sommet des sables de la coupe de l'Épave (fig. 2). Le faciès sableux des deux coupes forme la lithozone lb.

FIGURE 1. Localisation de l'île aux Coudres. 1A : Sites sanga-monien cités dans le texte. 1B : Sites de l'île aux Coudres.

Location of the Ile aux Coudres. 1A : Sangamonian sites referred to in the text. 1B : Studied sites on the Ile aux Coudres.



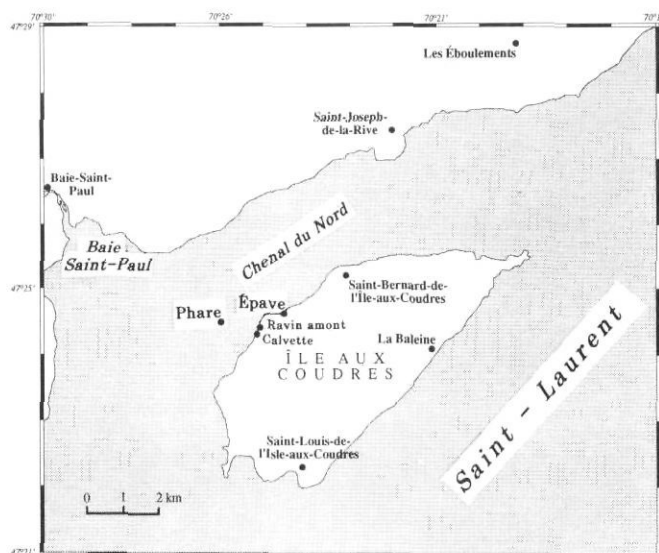
• La zone Ic est composée de lits de sable fin clair et de silts gris dont l'épaisseur varie entre 15 et 25 cm (fig. 2). Le silt est finement laminé. Le sable, stratifié, présente parfois des rides de courant. L'épaisseur visible est de 1 m. Le passage à la zone Id est apparemment conforme.

• Les rythmites gris foncé de la zone Id (Brodeur, 1987) sont composées de lits de 1 à 4 cm de sables fins silteux et de silts gris. Cette unité aux caractères homogènes forme un banc légèrement en relief. Le passage à l'unité II sus-jacente est conforme.

Les zones Ic et Id présentent un pendage général de l'ordre de 5° de secteur nord, c'est-à-dire vers le chenal actuel de l'île aux Coudres. Il est probable que l'unité I contienne des lacunes intraformationnelles.

UNITÉ II : sables stratifiés

L'unité est composée de sable clair et de lits de gravier qui contiennent parfois quelques galets de grès local. La partie supérieure de cette unité correspond à l'unité 1 de Brodeur et Allard (1985). En complément à leur description détaillée, nous avons constaté que l'unité présente un gradient granocroissant de la base vers le milieu de l'unité, puis un gradient granodécroissant. Les zones les plus inférieures (IIa et IIb) contiennent des lits de sable silteux ; le sable augmente ensuite de diamètre. Un banc intermédiaire, observé dans toutes les coupes, est composé de lits



de gravier contenant des galets. Ce banc IIc présente une stratification entrecroisée représentative de paléochenaux de quelques mètres de large. La zone sableuse supérieure IIId montre un gradient granulométrique normal ; le diamètre moyen du sable décroît vers le haut. Le passage à l'unité III, conforme, montre une interstratification de lits millimétriques de sable fin et de silt argileux.

UNITÉ III : argile stratifiée, varves et lentilles de débris schisteux

L'unité III correspond à l'unité 2 de Brodeur et Allard (1985), formée de rythmites ou varves fines. La coupe de la Calvette apporte des données originales : l'unité est subdivisée en trois lithozones distinctes. La zone IIIa, de 0,8 m d'épaisseur, composée d'argile et de silt finement stratifiés contient des débris végétaux disséminés. La zone IIIb,

épaisse de 1,7 m, est composée de microvarves décrites par Allard et Brodeur (1985). Elle contient quelques cailloux de délestage et des lentilles de débris schisteux locaux. La zone IIIc, d'épaisseur variable entre 0 et 0,4 m, est représentée par une brèche de débris schisteux verdâtres.

Les macrorestes végétaux (A. Larouche, Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie, Université de Montréal, rapport écrit, 1990) prélevés au sommet de la zone

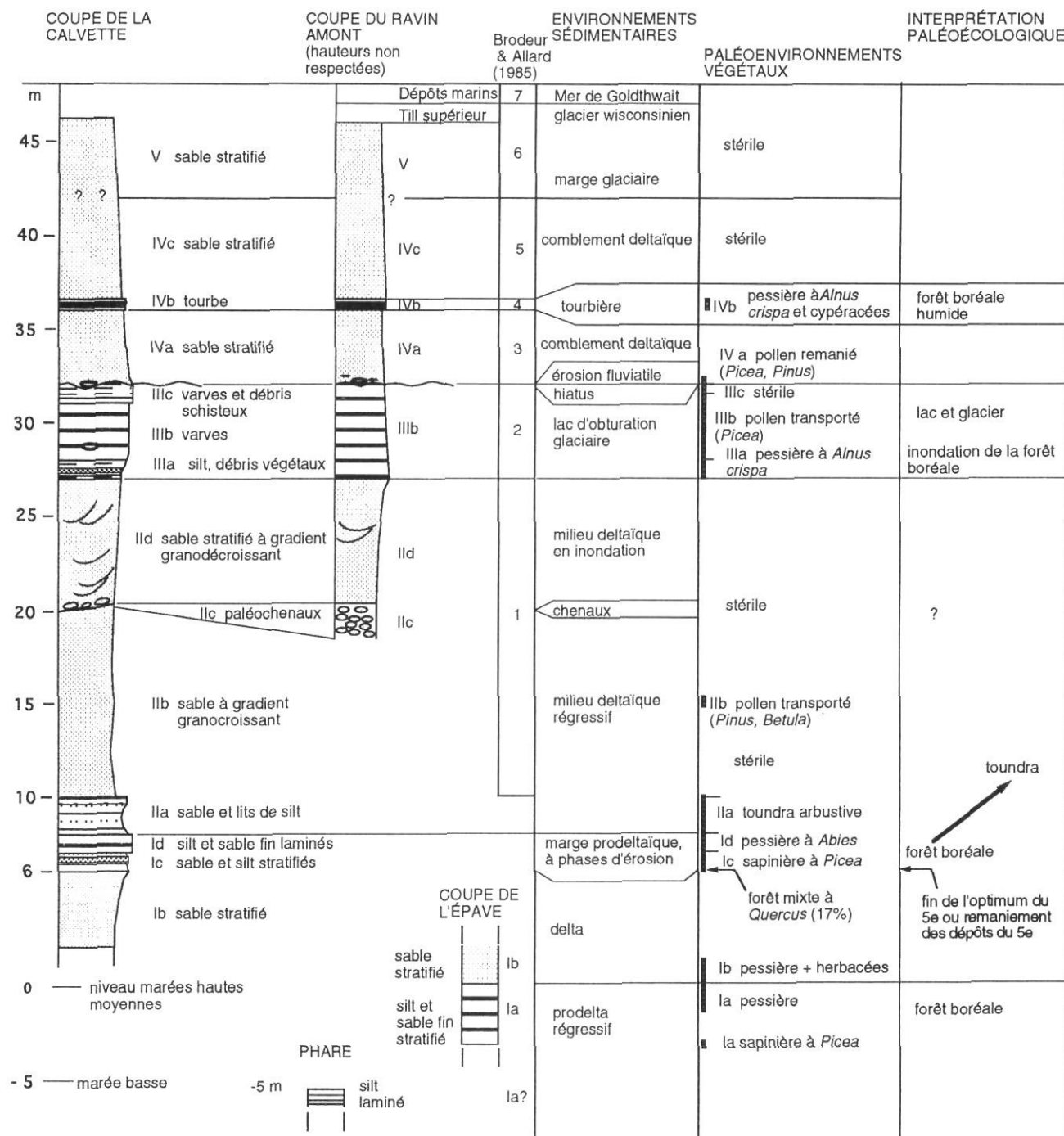


FIGURE 2. Synthèse stratigraphique et pollinique des unités pléistocènes de l'île aux Coudres.

Composite section and pollen diagram of Ile aux Coudres Pleistocene units.

IIIa comprennent des fragments de *Salix herbacea*, *Aulacomnium turgidum*, *Vaccinium uliginosum* var. *alpinum*, caractéristiques d'une toundra arbustive.

UNITÉ IV : sable stratifié et lit de tourbe

L'unité IVa équivaut à l'unité 3 de Brodeur et Allard (1985). Elle repose sur un contact d'érosion emboîté dans les varves sous-jacentes (IIIb), à la coupe du Ravin amont, ou dans les brèches IIIc de la Calvette. Un pavage de cailloux souligne cette lacune inférieure d'érosion.

Un lit de tourbe compactée, IVb, a déjà été décrit par Brodeur et Allard (1985 : unité 4) dans la coupe du Ravin amont. À la Calvette, l'unité de tourbe, en moyenne de 0,75 à 1 m d'épaisseur, est composée de trois lits de tourbe compactée, séparés par des débris schisteux et des lits sableux.

L'unité IVc est composée de sable stratifié et correspond à l'unité 5 de Brodeur et Allard (1985). La limite supérieure de l'unité IVc n'a pas été observée dans la coupe de la Calvette. D'après Brodeur et Allard (1985), la limite entre l'unité fluviatile 5 (=IVc) et les sables fluvioglaciaires sus-jacents n'est pas clairement distincte.

LES UNITÉS SUPÉRIEURES

Les unités supérieures de la séquence : l'unité 5 sableuse, le complexe glaciaire (unité 6) et les sables et graviers marins (unité 7) de Brodeur et Allard (1985) sont rappelées pour mémoire.

INTERPRÉTATION DES FACIÈS LITHOLOGIQUES

Afin d'ajuster la comparaison des contenus polliniques, il est important de reconstituer le mode de sédimentation des dépôts. Les rythmites inférieures de l'unité composite I sont attribuées à une sédimentation prodeltaïque, relativement proximale de la source fluviatile. Il pourrait s'agir d'un faciès de type turbidites prodeltaïques. Aucun indice de salinité n'a pu être détecté. Les lits sableux des lithozones Ib et Ic, à limites parallèles, à faible pendage et à microstratification entrecroisée, évoquent des courants de fond dans le chenal de drainage et des phases régressives et érosives. L'origine des lits silteux de la lithozone Ic reste à déterminer.

Les rythmites de l'unité Id présentent chacune un gradient granulométrique. Elles indiquent l'existence d'une phase de sédimentation en eau plus profonde que celle à l'origine des faciès sableux précédents. Aucun microfossile d'eau salée n'a pu être identifié.

Les sables stratifiés de l'unité II indiquent le passage progressif du milieu prodeltaïque peu profond à une exondation et chenalisation de surface, puis à un ennoisement progressif. La zone à galets de la Calvette a les caractéristiques d'un milieu fluviatile. Elle est mise en corrélation avec le banc de galets de même position stratigraphique décrit dans la coupe du Ravin amont par Brodeur et Allard (1985). Ces auteurs proposaient deux interprétations à ce banc : soit fluvioglaciaire, soit fluviatile.

Les argiles et varves de l'unité III indiquent l'ennoisement puis un régime glaciolacustre (Brodeur et Allard, 1985) dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

Le sable et les tourbes de l'unité IV ont été associés à un environnement fluviatile (Brodeur et Allard, 1985). La surface d'érosion à la base du sable est majeure. Elle représente probablement la lacune d'une séquence de glaciation-déglaciation.

PALYNOLOGIE

1) LA COUPE DE L'ÉPAVE

Unités Ia et Ib

Les échantillons sont le plus souvent stériles (fig. 3). Dans les rythmites grises, à environ 4 m sous le niveau 0 des hautes marées actuelles, un échantillon présente les caractéristiques d'une sapinière (26 % d'*Abies*) avec *Picea mariana* (47 %) et des Poaceae. La partie supérieure de la zone la représente une pessière au bord de laquelle poussent des Ptéridophytes. La concentration pollinique est plus élevée au sommet des rythmites. Dans les sables fins (Ib), *Picea* régresse et les Poaceae envahissent le terrain. La concentration est très faible (inférieure à 1000 grains/gramme de sédiment), excepté dans un niveau plus silteux où elle dépasse 9000 gr./g (fig. 4). La très faible concentration, la diversité taxonomique peu élevée, la forte proportion de fragments de pollen de conifères sont caractéristiques d'un remaniement important des grains de pollen et d'une éventuelle altération du sédiment encaissant. La présence presque régulière de *Potamogeton*, genre exclusivement aquatique, et celle non constante et très peu abondante de quelques arbres mésophiles (*Quercus*, *Nyssa*, *Carya*, *Picea* cf. *rubens*) évoquent un transport en milieu fluviatile (Clet et al., 1991).

2) LA COUPE DE LA CALVETTE

Unité Ic

Un lit silteux, à la base de la lithozone Ic, présente un assemblage pollinique particulier (fig. 5a). Le pourcentage des grains de pollen d'arbres dépasse 75 % et bien que *Picea mariana* soit encore l'arbre dominant, le pourcentage de *Quercus* atteint 17,4 %. La concentration pollinique élevée (supérieure à 20 000 gr./g) et la diversité taxonomique relativement forte (fig. 4) sont des indices montrant que les grains de pollen proviennent de la végétation locale ou régionale. Ils n'ont donc pas subi de transport ou de remaniements importants.

Au-dessus, l'alternance de silts et de sables est marquée par un accroissement du pollen de *Picea*, d'*Abies* et de *Betula*, tandis que celui de *Pinus* décroît. La forêt mixte de la base semble être progressivement remplacée par une sapinière-pessière dans laquelle quelques arbres à feuilles caduques subsistent encore (principalement *Quercus*). L'alternance de lits sableux et silteux et les variations de concentration (plus faible dans les lits sableux) indiquent un milieu de sédimentation avec courant favorisant le transport de pollen ou bien le remaniement. Les lits de sable induré et oxydé présentent quelques variations dans la composition pollinique : parfois les pourcentages de *Picea* y sont très élevés.

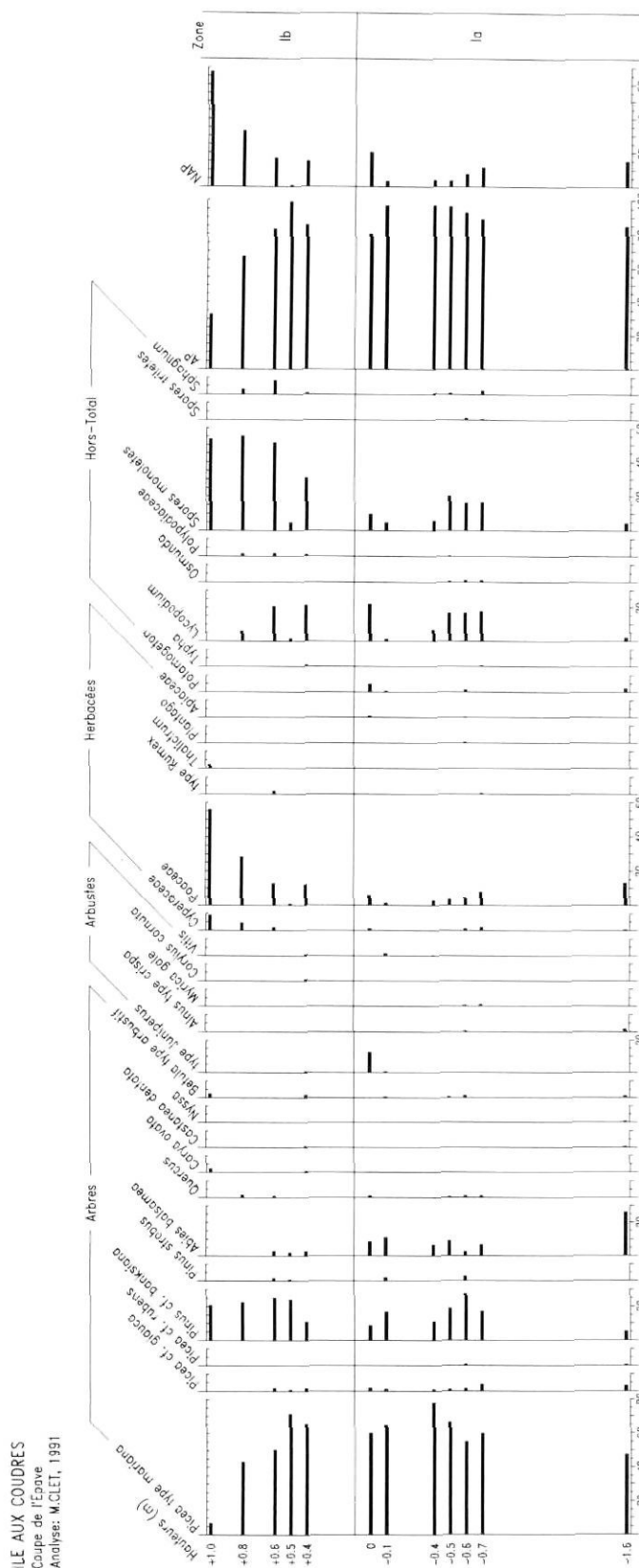


FIGURE 3. Diagramme pollinique de la coupe de l'Épave.
Pollen diagram of the Épave (wreck) section.

Unité Id

À la base de l'unité, dans les silt grise, les pourcentages de pollen d'arbres atteignent 87,5 % (fig. 5b). *Picea* est encore l'arbre dominant suivi par *Pinus*. Les pourcentages de pollen d'*Abies* sont en nette régression de même que ceux de *Quercus*. La diversité taxonomique des arbres diminue. La concentration pollinique est forte (25 000 gr./g) (fig. 4). La sédimentation est plus régulière.

Au sommet de l'unité, les silt deviennent bruns avec des lentilles plus sableuses. Un changement du contenu sporopollinique s'amorce. Les pourcentages de *Betula* et d'*Alnus crispa* augmentent. La concentration pollinique subit des variations. Le nombre de taxons d'herbacées augmente.

Unité II

Dans la zone IIa, le contenu sporopollinique des sables est différent de celui des silt sous-jacents (fig. 5b). Les pourcentages de pollen d'arbres diminuent et oscillent entre 48 et 60 %. *Betula* et *Alnus crispa* deviennent les espèces dominantes. Les valeurs de *Picea* régressent fortement. La concentration pollinique devient faible (5000 gr./g) (fig. 4). Le nombre de taxons d'arbres diminue, par contre celui des herbacées augmente.

Au-dessus, dans la zone IIb, un seul niveau est fossilifère, situé à +15 m. Il présente un contenu sporopollinique différent : *Pinus* et *Betula* sont les espèces dominantes. Les arbres thermophiles sont totalement absents. La diversité taxonomique et la concentration sont très faibles (fig. 4), ce qui indique le remaniement du pollen. Les conditions de fossilisation de la zone arénitique IIb sont défavorables.

Unité III, coupe de la Calvette

— IIIa : L'argile brune de 20 cm d'épaisseur présente un assemblage pollinique (fig. 5c) caractérisé par l'abondance de grains de pollen d'*Alnus crispa* qui est dominant en alternance avec *Picea* et *Pinus*. Les valeurs d'*Abies* augmentent progressivement. Les pourcentages de pollen d'arbres est de l'ordre de 30 %. Les *Lycopodium* présentent à la base des pourcentages élevés. La concentration pollinique est relativement élevée (15 000 à 20 000 gr./g) (fig. 4).

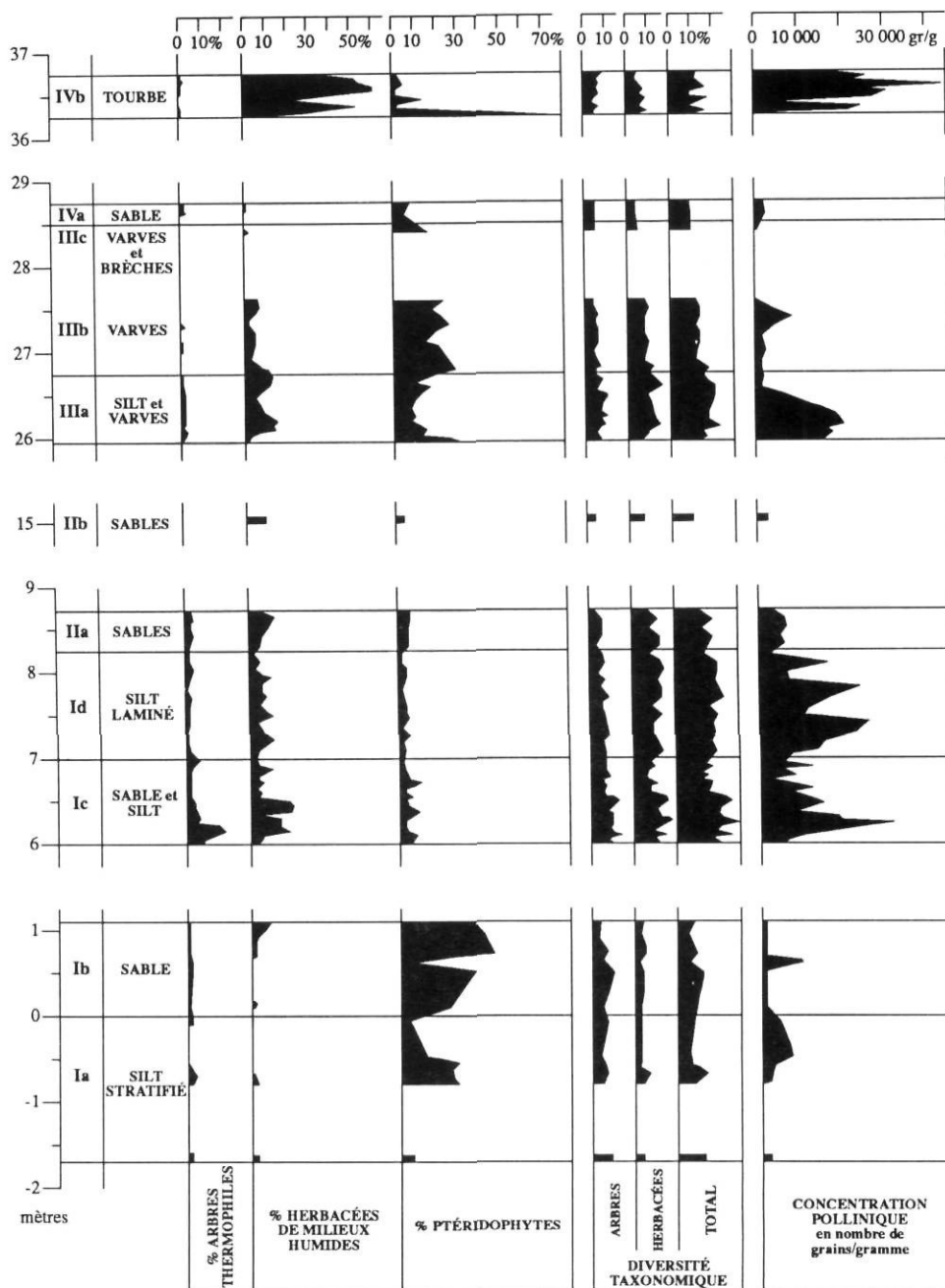
— IIIb : Dans la coupe de la Calvette, les varves franches ont seulement un mètre d'épaisseur. À la base, un lit contient de fortes proportions d'*Alnus crispa* ; on note ensuite un accroissement des grains de pollen de *Picea*, *Pinus* et des Cypéracées. *Abies* présente deux pics, encadrant celui d'*Alnus*. La concentration pollinique diminue (5 000 à 6 000 gr./g) (fig. 4).

3) LA COUPE DU RAVIN AMONT

La coupe du Ravin amont (Brodeur et Allard, 1985) complète la coupe de la Calvette. L'analyse sporopollinique du sommet des sables stratifiés de l'unité IId révèle que cette unité est également stérile dans cette coupe.

FIGURE 4. Indices polliniques des différentes unités pléistocènes de l'île aux Coudres.

Pollen parameters of Ile aux Coudres Pleistocene units.



Unité III, coupe du Ravin amont

— IIIb : Dans cette coupe, les varves reposent directement sur les sables de l'unité II (fig. 2). L'argile brune IIIa n'a pas été observée. À la base des varves, l'assemblage pollinique est très proche de celui trouvé dans la coupe de la Calvette avec un fort accroissement d'*Alnus crispa* accompagné de *Lycopodium* et de spores de fougères. Puis, au-dessus, *Picea mariana* redevient dominant avec *Betula* et *Pinus*. La concentration pollinique est élevée (15 000 à 20 000 gr./g) dans les 50 premiers centimètres à la base des varves et devient très faible au-dessus.

Le sommet des varves, entre 27,5 et 28,4 m est presque stérile. Seul un échantillon situé sous le contact d'érosion

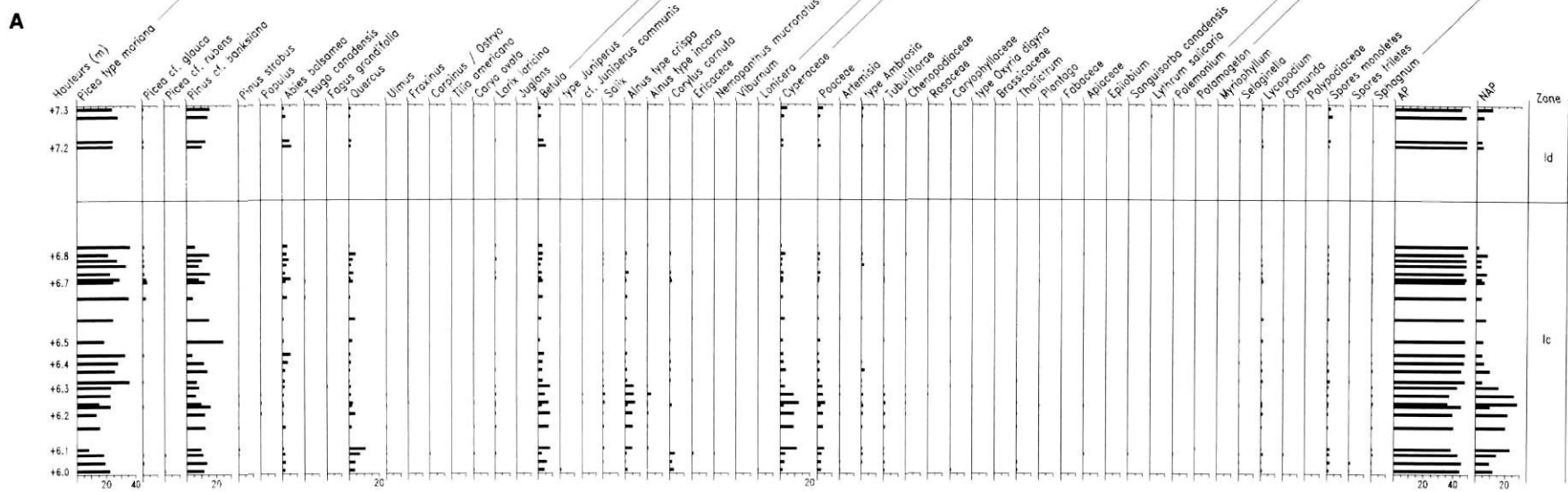
présente un assemblage pollinique dans lequel *Picea mariana* représente plus de 80%. La concentration et la diversité taxonomique y sont très faibles (moins de 1 000 gr./g).

Unité IV

— IVa : Deux échantillons prélevés dans les sables au-dessus du pavage présentent un assemblage pollinique avec *Picea* et *Pinus* (fig. 6A). La concentration pollinique est très faible (fig. 4). Les 5 mètres de sables sus-jacents sont stériles.

— IVb : Ce niveau de tourbe et de sables intercalés a été bien décrit par Brodeur et Allard (1985). L'analyse pollini-

ILE AUX COUDRES
Coupe de la Calvette I, détail de la base
Analyse: M.CLET, 1993



ILE AUX COUDRES
Coupe 2 de la Calvette, base
Analyse: M.CLET, 1991

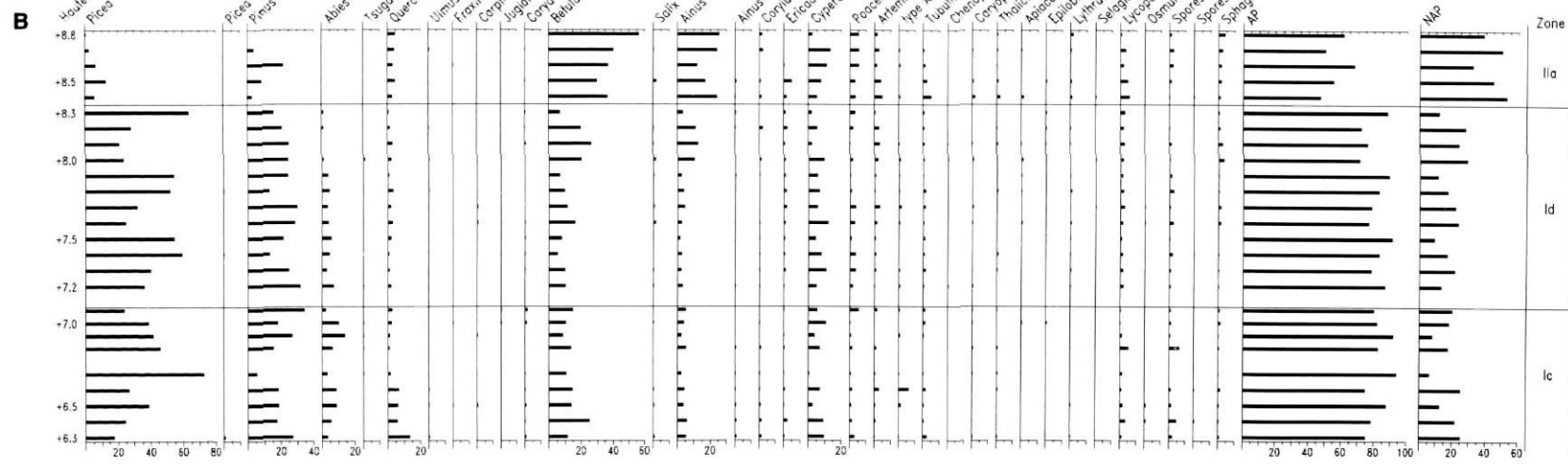


FIGURE 5. A) Diagramme pollinique de la coupe de la Calvette : détail de la base. B) Diagramme pollinique de la coupe de la Calvette : base. C) Diagramme pollinique de la coupe de la Calvette : sommet.

A) Pollen diagram of the Calvette (culvert) section : detailed study of the basal unit. B) Pollen diagram of the Calvette (culvert) section : lower units. C) Pollen diagram of the Calvette (culvert) section : upper units.



INTERPRÉTATION PALÉOÉCOLOGIQUE ET ZONATION POLLINIQUE

Au-dessus, la zone Ib correspond à un épisode de transport plus important des particules par l'eau : de nombreux fragments de pollen de conifères sont présents. Les spores de fougères et le pollen de plantes herbacées riveraines, en pourcentages plus élevés, indiquent un accroissement de l'apport d'espèces héliophiles qui colonisent les rives.

La zone Ic à la base de la coupe de la Calvette présente de forts pourcentages de pollen d'arbres thermophiles. Ce niveau peu épais est cependant constant : il a été retrouvé dans trois coupes différentes, échantillonnées entre 1985 et 1993 à la base de la coupe d'ensemble de la Calvette. Il représente une phase optimale d'un interglaciaire ou de la fin de celle-ci. La forte concentration pollinique (30 000 gr./g) évoque un transport peu important du pollen et donc une source pollinique à dominante locale, c'est-à-dire les rives de l'île au Coudres et de l'estuaire en amont. Au-dessus, l'unité Id montre que la forêt mixte évolue en sapinière et les arbres à feuilles caduques se raréfient.

Dans la zone IIa, le refroidissement climatique se fait progressivement et une pessière à *Betula* s'établit. La forêt boréale constitue alors le paysage végétal dominant le long des rives. Les faciès lithologiques évoquent un environnement de type deltaïque. La concentration pollinique forte indique que le pollen provient bien de la végétation locale.

Dans la zone IIb, le couvert végétal présente des changements importants, la forêt boréale s'est transformée en toundra arbustive avec des bouleaux et de l'aulne crispé. La tendance climatique est au refroidissement. Les niveaux sont stériles ou indiquent un transport et des remaniements. Les zones IIc et II d sont apparemment stériles.

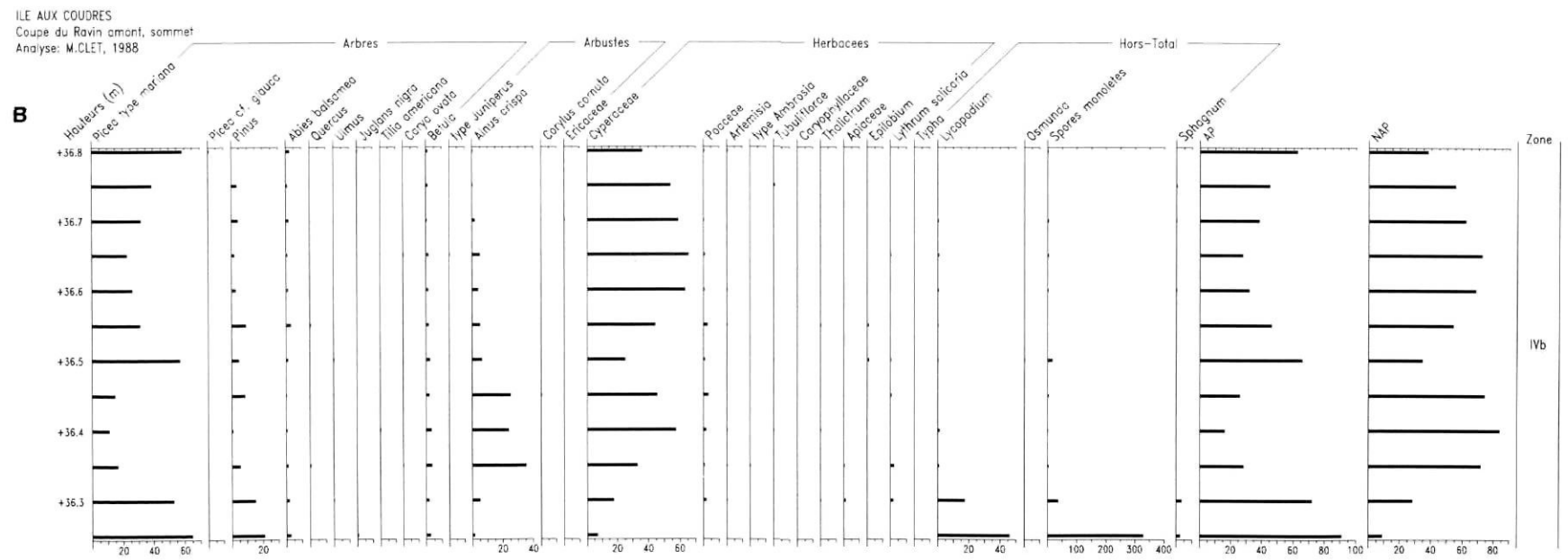
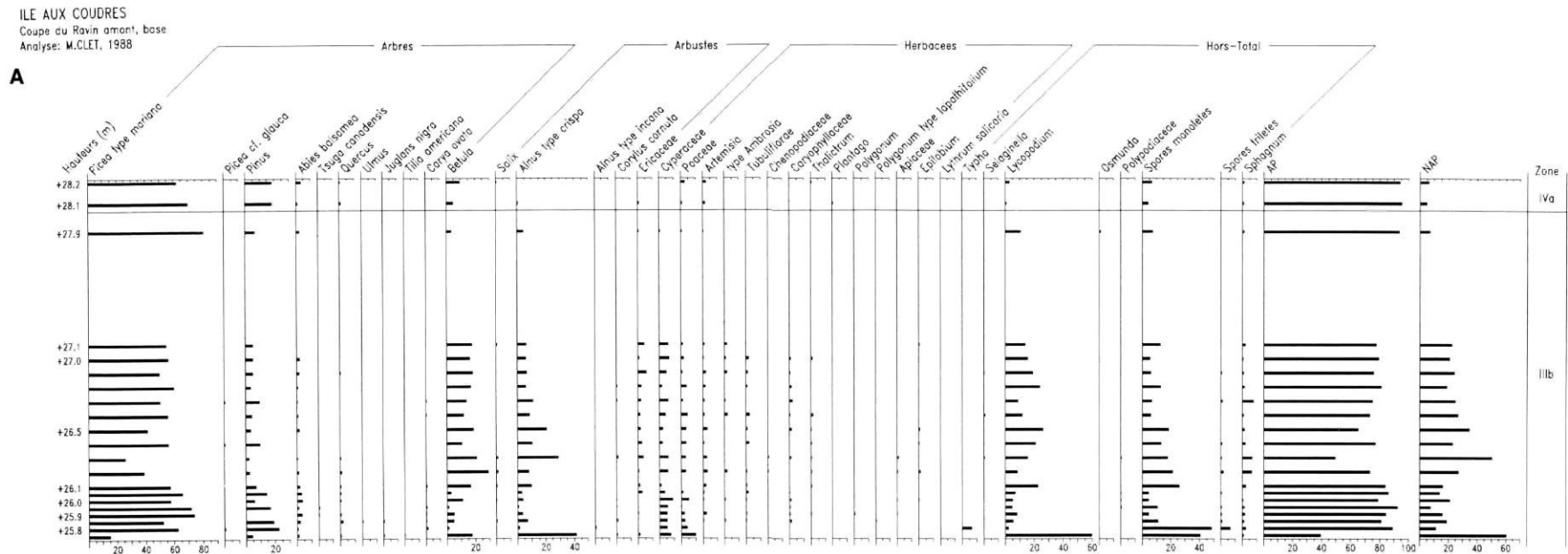


FIGURE 6. A) Diagramme pollinique de la coupe du Ravin amont : base. B) Diagramme pollinique de la coupe du Ravin amont : sommet.

A) Pollen diagram of the upstream Ravin (ravine) section : lower units. B) Pollen diagram of the upstream Ravin (ravine) section : upper units.

La succession de différentes phases de végétation, qui passe de la forêt mixte à la toundra arbustive par suite de la dégradation climatique, est associée à des faciès sédimentaires de type prodeltaïque à deltaïque en phase régressive. Malgré la présence évidente de lacunes d'érosion, les environnements végétaux sont caractéristiques de la fin d'un interglaciaire et du passage progressif d'un optimum climatique à un refroidissement.

Les varves de l'unité III correspondent à une sédimentation dans un lac d'obturation glaciaire. Une phase initiale d'enneigement de la forêt boréale des basses terres de l'estuaire moyen est attestée par des débris végétaux trouvés à la base (zone IIIa) et par la concentration pollinique qui est très élevée à la base et qui diminue rapidement dans la zone IIIb des varves franches (fig. 4). Une pessière (*Picea*) avec *Betula* et *Alnus crispa* est bien développée (fig. 6A). Le nombre de taxons diminue progressivement et le sommet des varves est stérile. Cette absence de pollen correspond probablement à l'absence de végétation sur les rives du lac, c'est-à-dire à un désert périglaciaire sur les zones entre le lac et les glaciers. La partie supérieure des varves est tronquée par une lacune d'érosion.

L'épandage fluvial qui suit remanie quelques grains de pollen qui ne sont pas nécessairement représentatifs de la végétation contemporaine. Pendant cet épisode fluvial, des tourbières se forment. La forêt boréale se développe, les rives sont envahies par les fougères ou par une végétation de type humide (Cypéracées et *Alnus*).

COMPARAISON DES UNITÉS I ET II DE L'ÎLE AUX COUDRES ET DES UNITÉS SANGAMONIENNES DE L'EST DU CANADA

La synthèse de Mott (1990) qui retrace l'évolution végétale et climatique du Sangamonien de l'Est du Canada va servir de référence pour comparer les unités interglaciaires de l'île aux Coudres à celles des sites de la région atlantique et des Grands Lacs (fig. 1A).

La comparaison des différents sites sangamoniens tient compte de leur localisation dans des zones bioclimatiques différentes. Autour des Grands Lacs, la végétation actuelle est constituée d'une forêt décidue de caractère méridional à érable, caryer et tilleul. Les provinces atlantiques et les îles de la Madeleine se situent dans une zone à forêt mixte d'épinette rouge, sapin et bouleau blanc. Notons que la rive nord du Saint-Laurent est recouverte d'une forêt boréale à épinette et sapin, à moins de 3 km au nord de l'îlot végétal à érablière de l'île aux Coudres.

La séquence de l'île aux Coudres pourrait représenter l'optimum climatique et la dégradation postérieure du Sangamonien observée au sommet de la séquence d'Addington Forks, en Nouvelle-Écosse (Mott, 1990). La succession végétale *Pinus-Quercus*, puis *Picea-Abies-Quercus*, *Picea-Betula* et enfin *Betula-Alnus crispa*-Cypéracées, identifiée sur environ 2,50 m à la base de la coupe de la Calvette, correspond au passage de la forêt mixte à la forêt boréale puis à la toundra arbustive. Le cortège des arbres décidus thermophiles est ici beaucoup

moins diversifié et en pourcentages moindres qu'à Addington Forks.

Dans le site de Woody Cove, à Terre-Neuve (Brookes *et al.*, 1982), l'optimum climatique est caractérisé par l'association *Picea-Abies-Betula* bientôt remplacée par une végétation de toundra herbacée. Cette forêt de conifères représente un paysage végétal plus boréal que celui de l'île aux Coudres.

À Pointe-Fortune (Anderson *et al.*, 1990), à la limite Québec-Ontario (fig. 1A), l'optimum de l'interglaciaire est caractérisé par la présence d'arbres thermophiles plus abondants et par des espèces qui vivent actuellement dans des milieux plus méridionaux (*Celtis*, *Platanus*, *Liquidambar*, par exemple). Dans la Formation de Don (Terasmae, 1960 ; Karrow, 1990), à Toronto, en Ontario, la forêt décidue thermophile est prépondérante. *Quercus* (50 %), *Carya* (20 %), *Liquidambar* (10 %) et les autres arbres de la chênaie mixte sont les éléments principaux du paysage.

Au nord de l'Ontario, la Formation de Missinaibi attribuée au Sangamonien présente une végétation à caractère plus boréal, avec *Picea-Pinus-Abies* accompagnés de quelques arbres thermophiles : *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* et *Carpinus* (Terasmae, 1958 ; Skinner, 1973 ; Mott et DiLabio, 1990).

La séquence de la fin de l'optimum sangamonien de l'île aux Coudres apparaît donc comme originale dans la vallée du Saint-Laurent. Il y a une bonne correspondance entre le milieu paléobiogéographique reconstitué et la position latitudinale du site. L'optimum climatique (ou une phase tardive de celui-ci) est fugace et défini davantage par la dégradation climatique postérieure que par ses caractères intrinsèques. Les seuls éléments qui lui sont antérieurs, observés dans la coupe de l'Épave (Ia) : *Abies-Picea* puis *Picea* et Ptéridophytes représentent un ensemble qui a pu être tronqué lors de la mise en place des sables Ib. *Picea* cf. *rubens*, présent dans la zone Ia et à la base de Ic, pourra peut-être ultérieurement servir de taxon marqueur à caractère régional puisqu'il n'a été identifié ni dans les unités postérieures de l'île aux Coudres ni dans celles de la vallée moyenne du Saint-Laurent (Clet et Occhietti, 1988 ; Clet *et al.*, 1991). Les horizons à *Quercus* de l'unité Ic sont indicateurs d'une zone végétale différente de l'actuelle, car aujourd'hui cette espèce n'y apparaît pas ou peu. Le site est au nord de l'actuelle limite de chênaies isolées observées sur la rive sud de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Les taux importants de *Quercus* et de *Corylus* sont des indices de conditions climatiques plus chaudes qu'aujourd'hui dans un contexte à saisonnalité différente : l'île aux Coudres et sa périphérie étaient recouvertes d'une végétation plus thermophile qu'aujourd'hui. D'autre part, d'après les travaux de Richard (1993, 1994), *Quercus* recolonise le sud-ouest du Québec méridional au début de l'Holocène dans des conditions climatiques plus sèches et de même température ou plus chaudes qu'actuellement. Ces différents arguments nous permettent de confirmer l'existence d'un épisode climatique tempéré, plus chaud qu'aujourd'hui, que l'on peut mettre en corrélation avec l'optimum climatique du Sangamonien et le sous-stade isotopique 5e. Cette corrélation reste à démontrer de façon

irréfutable par l'étude du contenu pollinique des unités enfouies sous le fleuve.

CORRÉLATION DES UNITÉS III ET IV DE L'ÎLE AUX COUDRES AUX UNITÉS DE LA VALLÉE FLUVIALE DU SAINT-LAURENT

Les unités supérieures de la séquence de l'île aux Coudres peuvent être comparées à d'autres unités de la vallée du Saint-Laurent (fig. 7). Les varves de l'unité III, sédimentées dans un lac d'obturation glaciaire, présentent les mêmes particularités que la base des Varves de Deschailons (Clet et Occhietti, 1994). La forêt boréale à *Picea* et *Alnus crispa* a été inondée et ce phénomène

d'enneigement est marqué par une concentration pollinique élevée (fig. 4). Les varves III reposent sur les sables stériles de l'unité II d qui seraient, en partie ou en totalité, l'équivalent du Sable de Lotbinière (Lamothe, 1989).

La Zone IIIb des varves franches a un contenu pollinique nettement distinct de celui des sédiments pléistocènes du lac d'obturation local de Saint-Placide (Govare et Gangloff, 1991), qui s'est étendu à 12 km à l'WNW de l'île aux Coudres. Ce lac local date probablement d'un épisode tardif du Wisconsinien supérieur (Govare et Gangloff, 1991), tandis que le lac associé aux varves III de l'île aux Coudres correspond à une phase d'englacement de début d'épisode glaciaire. Le contenu pollinique des sédiments du lac

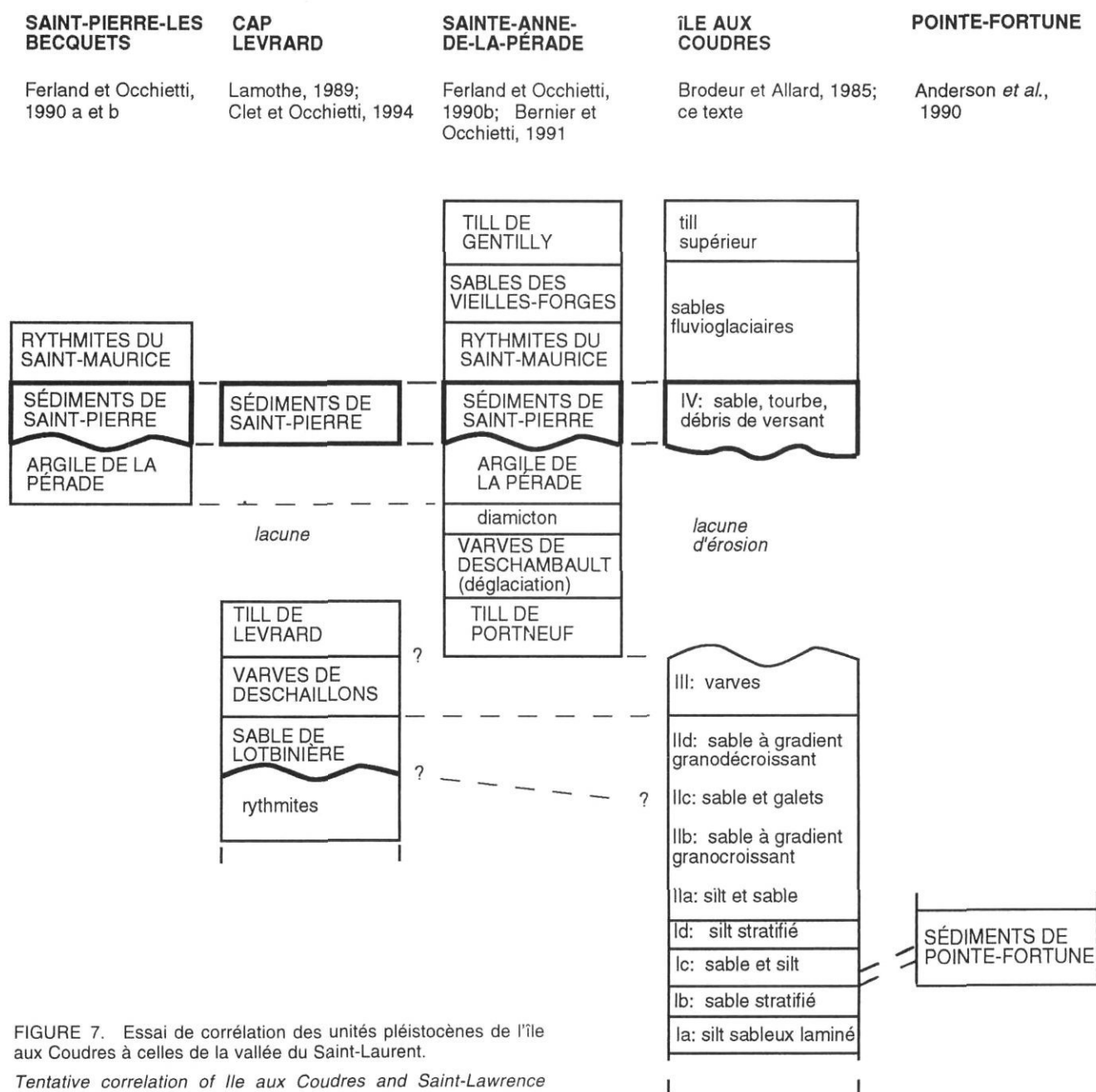


FIGURE 7. Essai de corrélation des unités pléistocènes de l'île aux Coudres à celles de la vallée du Saint-Laurent.

Tentative correlation of Ile aux Coudres and Saint-Lawrence Valley Pleistocene units.

Placide étaient jusqu'à présent le seul exemple régional du Pléistocène qui pouvait être comparé aux données pollinique de la séquence de l'île aux Coudres, mis à part les éléments de désert périglaciaire et de toundra postglaciaire (entre 11 000 et 10 000 BP) identifiés par Richard et Poulin (1976) au lac Mimi, à 11 km au NNE des sites de l'île aux Coudres.

L'unité IV de l'île aux Coudres est considérée comme l'équivalent des Sédiments de Saint-Pierre (Brodeur et Allard, 1985). La zone IVa sableuse est quasiment stérile. Les lits de tourbe très compactés de la zone IVb ont un contenu pollinique semblable à celui des lits de tourbe des sites de Saint-Pierre-les-Becquets et des Vieilles-Forges (Clet et Occhietti, 1988).

CONCLUSION

L'analyse pollinique détaillée des unités pléistocènes de l'île aux Coudres révèle deux faits importants pour la stratigraphie des basses terres du Saint-Laurent. Une séquence pollinique inférieure (zones Ic, Id et IIa), entre environ +6 m et +8,5 m, indique une succession végétale *Pinus-Quercus*, puis *Picea-Abies-Quercus*, puis *Picea-Betula* et *Betula-Alnus crispa*-Cypéracées qui correspond au passage d'une forêt mixte à une forêt boréale puis à une toundra arbustive. Le début de cette succession semble correspondre à la fin de l'optimum climatique de l'Interglaciaire Sangamonien (sous-stade isotopique 5e). La succession dans son ensemble est comparable à celles observées dans les sites interglaciaires de la région du golfe du Saint-Laurent, en Nouvelle-Écosse. Elle confirme également que les 160 m de sédiments sous-jacents identifiés par sismique réflexion à haute résolution et par forage sont antérieurs à la fin de l'optimum climatique du Sangamonien.

Le contenu pollinique des silts et des varves de l'unité III témoigne de l'inondation de la forêt boréale qui recouvrait la vallée de l'estuaire moyen du Saint-Laurent puis l'extension du lac d'obturation glaciaire à l'origine de cette inondation. Cette succession pollinique est du même type que celle des Varves de Deschaillons. La position des varves à l'île aux Coudres, de 27 à 31 m environ au-dessus des hautes marées actuelles, confirme que l'estuaire moyen du Saint-Laurent était comblé par un épandage fluvial-deltaïque avant l'épisode glaciolacustre.

Les unités pléistocènes de l'île aux Coudres représentent un jalon important entre les sites de la vallée fluviale du système Saint-Laurent-lac Ontario et ceux de la marge atlantique.

REMERCIEMENTS

Le Centre national de recherche scientifique (Centre de Géomorphologie, Caen) et le CRSNG ont financé ce projet. S. Guermont a préparé les échantillons au Centre de Géomorphologie. P. Richard, N. Morasse et A. Larouche, du Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie de l'Université de Montréal, ont apporté une contribution analytique. F. Bernier, F. Besré et P. Ferland, anciens étudiants à la maîtrise, de nombreux étudiants et A. Parent du

Département de géographie et du GÉOTOP de l'Université du Québec à Montréal ont contribué aux travaux de terrain, de laboratoire et de dessin. Les auteurs remercient ces organismes et ces personnes pour leur participation. Ils remercient également R.J. Mott et M. Allard dont la lecture critique a permis d'améliorer ce texte.

RÉFÉRENCES

- Anderson, T.W., Matthews, J.V. Jr., Mott, R.J. et Richard, S.H., 1990. The Sangamonian Pointe-Fortune site, Ontario-Québec border. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 271-287.
- Bernier, F. et Occhietti, S., 1990. Le complexe glaciaire du Cap-Charles, vallée moyenne du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 173-180.
- 1991. Nouvelle séquence glaciaire antérieure aux Sédiments de Saint-Pierre, Sainte-Anne-de-la-Pérade, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 45 : 101-110.
- Besré, F. et Occhietti, S., 1990. Les Varves de Deschaillons, les Rythmites du Saint-Maurice et les rythmites de Leclercville, du Pléistocène supérieur de la Vallée moyenne du Saint-Laurent (Québec). *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 181-198.
- Boespflug, X., Long, B.F.N. et Occhietti, S., 1995. Axial tomodesimetry in stratigraphy : A quantitative approach. *Marine Geology*, 122 : 281-301.
- Brodeur, D., 1987. Île aux Coudres. In J.T. Gray et coll., *Processus et paléo-environnements du Quaternaire dans la péninsule gaspésienne et dans le Bas Saint-Laurent*. Excursion C4, XII^e Congrès INQUA, Ottawa. Addenda, 20 p.
- Brodeur, D. et Allard, M., 1985. Stratigraphie et Quaternaire de l'île aux Coudres, estuaire moyen du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 39 : 183-197.
- Brookes, I.A., McAndrews, J.H. et von Bitter, P.H., 1982. Quaternary interglacial and associated deposits in southwest Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 19 : 410-423.
- Clet, M., 1989. Palynologie de rythmites du Pléistocène supérieur, Leclercville, vallée moyenne du Saint-Laurent, Canada. *Bulletin de l'AFEQ*, 4 : 225-237.
- Clet, M. et Occhietti, S., 1988. Palynologie des sédiments attribués à l'intervalle non-glaciaire de Saint-Pierre (Québec, Canada). Étude préliminaire. Actes du 10^e symposium de l'APLF : Palynologie, Écologie, Paléoécologie, Bordeaux, 1987. *Bulletin de l'Institut français de Pondichéry. Travaux Section Sciences et Techniques*, XXV : 185-196.
- 1994. Palynologie et paléoenvironnements des épisodes du Sable de Lotbinière et des Varves de Deschaillons (Pléistocène supérieur) de la vallée du Saint-Laurent. *Revue canadienne des sciences de la Terre*, 31-9 : 1474-1485.
- Clet, M., Occhietti, S. et Richard, P.H.J., 1991. Palynologie et lithostratigraphie du Pléistocène du site de Donnacona, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 45 : 125-140.
- Ferland, P. et Occhietti, S., 1990a. Révision du stratotype des Sédiments de Saint-Pierre et implications stratigraphiques, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 147-158.
- 1990b. L'argile de La Pérade : nouvelle unité marine antérieure au Wisconsinien supérieur, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 159-172.
- Goeury, C., 1988. Acquisition, gestion et représentation des données de l'analyse pollinique sur micro-ordinateur. Actes du 10^e Symposium de l'APLF : Palynologie, Écologie, Paléoécologie, Bordeaux, 1987. *Institut français de Pondichéry, Travaux Section Sciences et Techniques*, XXV : 405-416.
- Govare, E. et Gangloff, P., 1991. Les dépôts lacustres d'obturation de Saint-Placide, Charlevoix, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 45 : 141-154.

- Grant, D.R., 1989. Le Quaternaire de la région des Appalaches atlantiques du Canada, p. 421-474. In R.J. Fulton, édit., *Le Quaternaire du Canada et du Groenland*. Géologie du Canada 1, Commission géologique du Canada.
- Grantner, M.M., 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Presses de l'Université Laval, 216 p.
- Karrow, P.F., 1990. Interglacial beds at Toronto, Ontario. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 289-297.
- Lamothe, M., 1989. A new framework for the Pleistocene stratigraphy of the central St. Lawrence Lowland, southern Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 43 : 119-129.
- Mott, R.J., 1990. Sangamonian forest history and climate in Atlantic Canada. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 257-270.
- Mott, R.J. et DiLabio, R.N.W., 1990. Paleoecology of organic deposits of probable last interglacial age in northern Ontario. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 309-318.
- Occhietti, S., 1990. Lithostratigraphie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent : méthode, cadre conceptuel et séquences sédimentaires. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 137-145.
- Occhietti, S. et Clet, M., 1989. The last interglacial/glacial group of sediments in the Saint-Lawrence valley, Québec, Canada. *Quaternary International*, 3-4 : 123-129.
- Occhietti, S., Long, B., Clet, M., Boespflug, X. et Sabeur, N., sous presse. Séquence de la transition Illinoien-Sangamonien : forage IAC-91 de l'île aux Coudres, estuaire moyen du Saint-Laurent, Québec. *Revue canadienne des sciences de la Terre*.
- Richard, P.J.H., 1993. Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec. *Review of Paleobotany and Palynology*, 79 : 31-68.
- 1994. Wisconsin Late-glacial environmental change in Québec : A regional synthesis. *Journal of Quaternary Science*, 9 (2) : 165-170.
- Richard, P. et Poulin, P., 1976. Un diagramme pollinique au Mont des Éboulements, région de Charlevoix, Québec. *Journal canadien des sciences de la Terre*, 13 : 145-156.
- Rousseau, C., 1974. Géographie floristique du Québec-Labrador. Distribution des principales espèces vasculaires. Travaux et documents du Centre d'études nordiques, n° 7, Presses de l'Université Laval, 799 p.
- Skinner, R.G., 1973. Quaternary stratigraphy of the Moose River Basin, Ontario. *Geological Survey of Canada, Bulletin* 225, 77 p.
- Terasmae, J., 1958. Contributions to Canadian palynology. Part II : Non-glacial deposits in the St. Lawrence Lowlands, Québec. Part III : Non-glacial deposits along Missinaibi River, Ontario. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 46 : 13-35.
- 1960. Contributions to Canadian Palynology No 2. Part II : A Palynological Study of Pleistocene Interglacial Beds at Toronto, Ontario. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 56 : 23-41.
- Todd, B.J., Occhietti, S. et Burns, R.A., 1991. Seismic reflection mapping of bedrock topography and Quaternary seismostratigraphy of the middle St. Lawrence Estuary, Ile aux Coudres, Québec. In *Current Research*, Geological Survey of Canada, Paper 91D : 53-59.